

การวิเคราะห์สมรรถนะทางความร้อนของผนังบล็อกแก้วสองชั้นโฟโตโวลตาอิก ร่วมกับพัฒนาระบบแสดงภายใต้สภาวะอากาศแบบร้อนชื้น

ปริดา จันทวงษ์^{1*} จงจิตร หิรัญลาภ² พิชัย นามประกาย³ โจเซฟ เคดารี⁴ บุญชอบ โสตะประวัติ⁵
ชาติชาย ชุมจันทร์⁷ เนรมิตร กระแสร์ลม⁵ พิสุทธิ แท่นทอง⁷ วิรัตน์ นุชนาง⁶ ฉัตรชัย ฉายแสง⁶
หัสฐชัย จุลภักดี⁶ พงศกร ศิลปาจารย์⁶ ปิณณธร ธนพรโสภณ⁶ และ ชนนิกันต์ แก้วจังหวัด⁶

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในห้องของบ้านจำลองที่ใช้ผนังบล็อกแก้วสองชั้นโฟโตโวลตาอิกร่วมกับพัฒนาระบบแสดง (GD-PV) กับผนังบล็อกแก้ว (GW) และผนังคอนกรีตทั่วไป (SW) มีขนาดความหนา 0.10 ม. ผนังบล็อกแก้ว GD-PV มีขนาดพื้นที่ประมาณ 0.9 ตร.ม. มีลักษณะโครงสร้างประกอบด้วยผนังชั้นนอกเป็นบล็อกแก้วร่วมกับแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 50 วัตต์ มีความหนาประมาณ 0.8 ม. ผนังชั้นในเป็นกระจกใส มีความหนา 0.006 ม. มีขนาดช่องว่างอากาศ 0.8 ม. ช่องเปิดด้านล่างอยู่ภายในบ้านมีขนาดพื้นที่ประมาณ 0.24×0.12 ตร.ม. เพื่อระบายอากาศจากภายในเข้าสู่ช่องว่างอากาศ และด้านบนมีช่องเปิดขนาดพื้นที่ประมาณ 0.24×0.12 ตร.ม. ที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงมีขนาด 2×0.76 วัตต์ เพื่อระบายอากาศสู่สิ่งแวดล้อม โดยผนังทดสอบทั้งสามแบบ

ติดตั้งอยู่บนผนังทางด้านทิศใต้ของบ้านจำลองขนาดเล็กที่มีปริมาตรเท่ากับ 4.05 ลบ.ม. สร้างด้วยผนังคอนกรีตมวลเบาทั่วไปมีความหนา 0.10 ม. ผลการทดลองพบว่า บ้านที่ติดตั้งผนังบล็อกแก้วสองชั้น GD-PV จะมีอุณหภูมิภายในห้องต่ำกว่า บ้านที่ติดตั้งผนังบล็อกแก้ว GW และผนัง SW คอนกรีตทั่วไปประมาณ $1-3^{\circ}\text{C}$ และช่วยลดอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทางด้านทิศใต้ร้อยละ 71.43 - 86.67 และการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลเวียนของผนังบล็อกแก้วสองชั้น GD-PV ขึ้นกับความเข้มแสงของอาทิตย์ ผนังบล็อกแก้วสองชั้น GD-PV ช่วยประหยัดพลังงาน

คำสำคัญ: ผนังบล็อกแก้วสองชั้นระบายอากาศ ค่าความสว่างธรรมชาติ การระบายอากาศแบบธรรมชาติ การอนุรักษ์พลังงาน สภาวะอากาศแบบร้อนชื้น

- ¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 - ² ศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
 - ³ รองศาสตราจารย์ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 - ⁴ ศาสตราจารย์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 - ⁵ อาจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 - ⁶ นักศึกษา ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 - ⁷ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และสังคม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- * ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-2555-2000 ต่อ 6434 อีเมล: cpreeda@yahoo.com



Analysis of Thermal Performance of Glass Block Double-facade Integrated Photovoltaic Panels Assisted with DC Fan under Tropical Climate

Preeda Chantawong^{1,8*} Jongjit Hirunlabh² Pichai Namprakai³ Joseph Khedari⁴ Boonchorb Sotprawati⁵
Chartchay Chumchan⁵ Neramit Krasaelom⁵ Pisut Thantong⁷ Wirut Nuchnang⁶ Chatchai Chaisaeng⁶
Hattachai Junlapuk⁶ Pongsakorn Sillapajari⁶ Punnatorn Thanapornsopon⁶ and Chonnikarn Keawjungwad⁶

Abstract

This paper aims to conduct a comparative study concerning heat transfer to the air in a house model having glass block double-facade integrated photovoltaic panels assisted with a DC fan (GD-PV), a glass block concrete wall (GW), and a simple concrete wall (SW). The wall thickness was approximately 0.10 m. the area of the GD-PV was 0.9 m², The GD-PV external wall was a glass block double and solar cell panel (50 W). The thickness was approximately 0.8 m. The internal wall was a clear glass wall 0.06 m thick. The GD-PV gap was 0.8 m. The opening was located at the bottom (room side), with two DC electrical fans (5.76W) installed 0.24 · 0.12 m² to increasing ventilation. On the top of the glass block, a 0.24 · 0.12 m² opening was

installed to exhaust hot air. The three wall models were installed on the southern facade of a small house of with a volume of 4.05 m³ made from 0.10 m autoclaved aerated concrete. The findings from the experiments revealed that the indoor temperature of the GD-PV room was about 1-3°C lower than that of the GW and SW. The heat gain admitted through the south wall was 71.43-86.67% lower. The GD-PV induced ventilation rate varied according to the intensity of the solar radiation. The GD-PV is expected to save cooling energy.

Keywords: Glass Block Double-facade, Daylight, Natural Ventilation, Energy Conservation, Tropical Climate

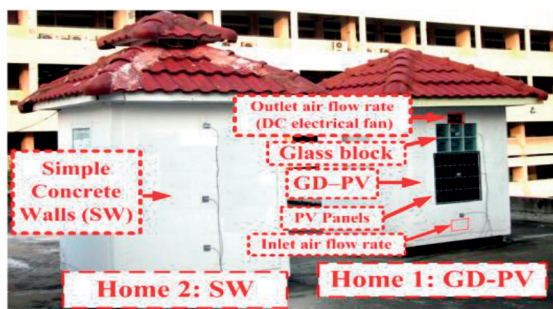
-
- ¹ Assistant Professor, Department of Power Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.
² Professor, Faculty of Engineering, Bangkokthonburi University.
³ Associate Professor, School of Energy Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi.
⁴ Professor, Faculty of Architecture, Kasetsart University.
⁵ Lecturer, Department of Power Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.
⁶ Student, Department of Power Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.
⁷ Assistant Professor, Department of Social and Applied Science, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.
* Corresponding Author, Tel. 0-2555-2000 Ext. 6434, E-mail: cpreeda@yahoo.com

1. บทนำ

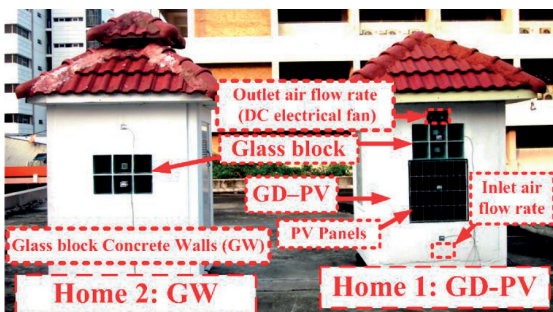
ปัจจุบันประเทศไทย มีการนำพลังงานพาณิชย์มาใช้อย่างสิ้นเปลืองเพื่อตอบสนองต่อความสบายของมนุษย์ ปัญหาความร้อนสะสมภายในบ้านหรืออาคารที่พักอาศัย เกิดจากการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในบ้านหรืออาคารที่พักอาศัยที่เกิดจากรังสีอาทิตย์ที่มาจากกระบอกบนอาคารหรือบ้านที่พักอาศัยโดยตรงประมาณ 17 MJ/m².day ก่อให้เกิดการสะสมความร้อนและอุณหภูมิภายในที่สูง เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตอากาศร้อนชื้นมีสภาพอากาศร้อนสลับฝนตลอดปี มีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยประมาณ 20-30°C และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยประมาณร้อยละ 59-100 [1]-[3] ซึ่งจะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานเป็นจำนวนมากและพลังงานเชิงพาณิชย์หลักที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ คือพลังงานไฟฟ้าที่มีอัตราการใช้พลังงานในส่วนนี้สูงและมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศร้อยละ 60 และจากแสงสว่างร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ ร้อยละ 40 [4] ภายในอาคารต่างๆ จึงได้ทำการศึกษาเพื่อหาวิธีการแก้ปัญหา การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารหรือบ้านพักอาศัยกันอย่างแพร่หลายทั้งภายในและต่างประเทศ การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อนจากห้องใต้หลังคาเพื่อช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในบ้านโดย Ogoli [5] พบว่าวิธีการติดตั้งฉนวนแบบแบนราบดีที่สุด Chantawong และคณะ [6], [7] ได้ศึกษาเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนของสีทาภายนอกทั้งสามสีที่มีผลกระทบต่อบ้านพักอาศัยบ้านทดสอบทั้งสองหลังสร้างด้วยผนังคอนกรีตมวลเบาแบบอบไอน้ำฉาบปูนผนังภายนอกทั้ง 4 ด้าน มีขนาดพื้นที่ของผนังในแต่ละด้านเท่ากับ 1.5×1.8 ตร.ม. ความหนา 0.10 ม. ทดสอบภายใต้สภาวะอากาศปกติ (ปิดเครื่องปรับอากาศ) พบว่าสีเทาอ่อนและสีฟ้าอ่อนมีสมบัติเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้ดีกว่าสีครีมอ่อนและอุณหภูมิอากาศ ความชื้น และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในบ้านที่ทำด้วยสีเทาอ่อน และสีฟ้าอ่อนจะมีค่าต่ำกว่าบ้านที่ทำสีครีม ส่งผลให้สีเทาอ่อนและสีฟ้าอ่อน

ช่วยประหยัดพลังงานได้มากกว่าสีครีมอ่อน ต่อมา Ungkoon และคณะ [8] และ Saksongyot และคณะ [2] ศึกษาการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในบ้านจำลองที่ใช้ผนังอิฐมอญกับผนังมวลเบาแบบอบไอน้ำและผนังมวลเบาแบบไม่อบไอน้ำ เปรียบเทียบโดยใช้บ้านจำลองมีผนัง 4 ด้าน แต่ละด้านมีขนาดพื้นที่ประมาณ 5.52 ตร.ม. และ 1.0 ตร.ม. ทดสอบโดยไม่ฉาบปูน และทาสีบนผนังทั้งภายในและภายนอก พบว่าห้องที่ติดตั้งผนังมวลเบาแบบอบไอน้ำ จะมีอุณหภูมิอากาศภายในห้องต่ำกว่าบ้านที่ติดตั้งผนังอิฐมอญ และมวลเบาแบบไม่อบไอน้ำ และผนังมวลเบาแบบอบไอน้ำ สามารถลดค่าความร้อนที่ไหลผ่านผนังได้มากกว่าห้องที่ติดตั้งผนังอิฐมอญและมวลเบาแบบไม่อบไอน้ำและต่อมา Chantawong และคณะ [9]-[11] ได้มีการศึกษาพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมด อีกทั้งไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาประยุกต์ใช้ภายในอาคาร จึงมีส่วนสำคัญต่อการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และการศึกษาปล่องผนังระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบธรรมชาติ และแบบบังคับภายใต้สภาวะอากาศของประเทศไทย โดยศึกษาเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการป้องกันความร้อนเข้าสู่ภายในระหว่างของห้องที่ติดตั้งปล่องผนังคอนกรีตมวลเบาระบายอากาศแบบธรรมชาติกับผนังคอนกรีตทั่วไปชั้นเดียว ทำการสอบและติดตั้งกับบ้านจำลองที่มีขนาดเท่ากัน ผลการทดลองพบว่าบ้านที่ติดตั้งปล่องผนังระบายอากาศทั้งสองแบบมีอุณหภูมิภายในห้องต่ำกว่าอุณหภูมิของบ้านผนังทั่วไป ปล่องผนังระบายอากาศทั้งสองแบบยังช่วยระบายอากาศภายในห้องเกิดการไหลเวียนของอากาศได้ดีขึ้น

สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะการป้องกันความร้อนเข้าสู่ภายในห้องของบ้านจำลองระหว่างบ้านหลังที่ 1 ที่ใช้ผนังบล็อกแก้วสองชั้น โฟโตโวลตาอิกร่วมกับพัดลมกระแสตรง (Glass Block Double-facade Integrated Photovoltaic Panels Assisted with DC Fan: GD-PV: Home 1) กับบ้านหลังที่ 2 ที่ใช้ผนังคอนกรีตทั่วไป (Simple Concrete Wall: SW: Home 2) และผนังคอนกรีตบล็อกแก้ว (Glass Block Concrete Wall:



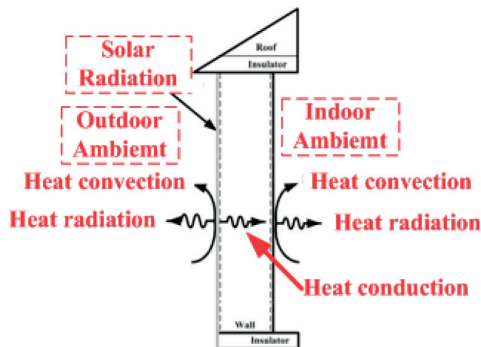
รูปที่ 1 บ้านทดสอบที่ติดตั้งผนังผนังบล็อกแก้ว GD-PV:
Home1 และผนังคอนกรีตทั่วไป SW:Home2[10]-[14]



รูปที่ 2 บ้านทดสอบที่ติดตั้งผนังผนังบล็อกแก้ว GD-PV:
Home1 และผนังบล็อกแก้ว GW:Home2[10]-[14]

GW: Home2) ที่ติดตั้งกับบ้านจำลอง ภายใต้สภาวะอากาศของประเทศไทยและเป็นงานวิจัยพัฒนาต่อเนื่องมาจากงานวิจัยของ Puban และคณะ [9] Chantawong และคณะ [10]-[12] Khedari และคณะ [13] และ Pongsatirat [14] โดยติดตั้งอยู่บนผนังด้านทิศใต้ของบ้านจำลองขนาดเล็กทั้งสองหลัง (4.05 ลบ.ม.) มีขนาดเท่ากันดังแสดงรูปที่ 1-2 จะทำการทดสอบโดยปิดเครื่องปรับอากาศ

จากผลทดลองภายในวันที่ 20 ธันวาคม 2554 และวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2555 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่างๆ และการถ่ายเทความร้อนที่ไหลผ่านผนัง อุณหภูมิบนผนังคอนกรีตทั่วไป อุณหภูมิบนผนังคอนกรีตบล็อกแก้ว และอุณหภูมิบนผนังบล็อกแก้ว GD-PV เช่น อุณหภูมิบนผนังบล็อกแก้ว อุณหภูมิบนโฟโตโวลตาอิก หรือแผงโซลาร์เซลล์ อุณหภูมิบนผนังคอนกรีตทั่วไป อุณหภูมิบนกระจกใสธรรมดาทั่วไป อุณหภูมิภายใน



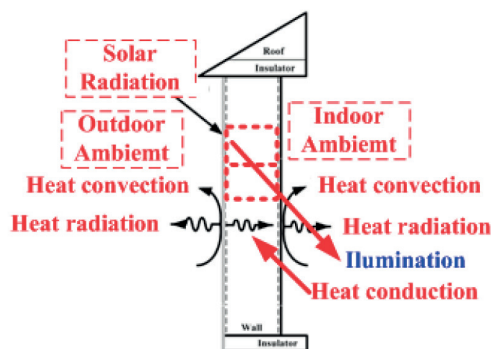
รูปที่ 3 ความร้อนไหลผ่านผนังคอนกรีตทั่วไป [2]

ช่องว่างอากาศของผนังบล็อกแก้ว GD-PV อุณหภูมิภายในบ้าน และสิ่งแวดล้อม ค่าแสงธรรมชาติส่องผ่านผนังภายในบ้าน ค่าความเร็วลมภายในและภายนอกของบ้านจำลอง ความเร็วลมของผนังบล็อกแก้ว GD-PV และค่าความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์

1.1 การถ่ายเทความร้อนผนังของบ้าน

ความร้อนสามารถไหลผ่านผนังเข้าสู่ภายในบ้านพักอาศัยได้สองกรณี [2] กรณีแรกผนังที่แสงไม่สามารถผ่านได้หรือผนังคอนกรีตทั่วไป (Simple Concrete Wall: SW) มีหลักการดังนี้ (ดังแสดงในรูปที่ 3) เมื่อความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์มาตกกระทบบนผนังของบ้าน ทำให้เกิดการสะสมความร้อนที่ผิวภายนอก เกิดการสูญเสียความร้อนของผนังโดยการพาความร้อน การแผ่ความร้อนบางส่วนให้กับสิ่งแวดล้อม ความร้อนที่สะสมที่ผิวภายนอกจะถ่ายเทความร้อนผ่านความหนาของผนังโดย การนำความร้อนสู่ผิวภายในทำให้เกิด การพาความร้อน การแผ่ความร้อนจากผนังด้านในไปตกกระทบกับวัสดุภายในบ้าน เกิดการสะสมความร้อน ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นและถ่ายเทความร้อนโดยการพาให้กับอากาศภายในบ้านทำให้ อุณหภูมิสูงขึ้น

กรณีที่สองผนังโปร่งแสงหรือผนังคอนกรีตบล็อกแก้ว (Glass Block Concrete Wall: GW) แสงสามารถผ่านบล็อกแก้วได้เพียงบางส่วน (ดังแสดงในรูปที่ 4) โดยมีหลักการ การความร้อนถ่ายเทในลักษณะเดียว

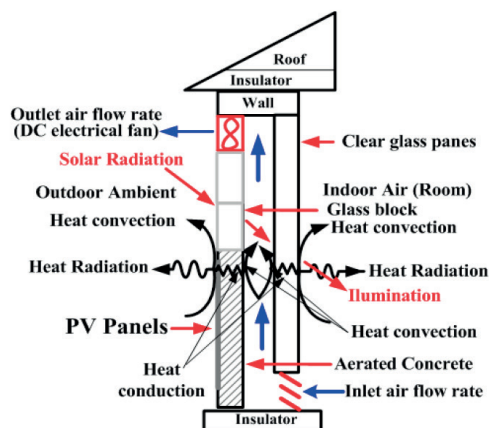


รูปที่ 4 ความร้อนผ่านผนังคอนกรีตบล็อกแก้วเข้าสู่ภายใน

กรณีแรก และต่างกันตรงที่แสงจากแสงแดดของรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านผนังบล็อกแก้วมาตกกระทบกับวัตถุภายในวัสดุ ภายในบ้าน เกิดการสะสมความร้อนทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นและถ่ายเทความร้อนโดยการพาให้กับอากาศภายในบ้าน ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ข้อดีของผนังโปร่งแสงจะได้ แสงธรรมชาติมาประโยชน์ภายในช่วงเวลากลางวัน ช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากแสงประดิษฐ์ได้อีกทางหนึ่ง

1.2 ผนังบล็อกแก้ว GD-PV

ผนังบล็อกแก้วสองชั้นร่วมกับโฟโตโวลตาอิก (GD-PV) มีลักษณะโครงสร้างประกอบด้วย (ดังแสดงในรูปที่ 5) ผนังชั้นนอกเป็นคอนกรีตบล็อกแก้วร่วมกับแผงโซลาร์เซลล์ ผนังชั้นในเป็นกระจกใสธรรมดาทั่วไปมีช่องว่างอากาศระหว่างผนัง ช่องเปิดด้านล่างจะช่วยระบายอากาศจากภายในห้องเข้าสู่ภายในช่องว่างอากาศของผนัง และช่องเปิดด้านบนมีการติดตั้งพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ที่ป้อนให้กับพัดลมโดยตรงจะติดตั้งบริเวณตรงกลางผนังบล็อกแก้วด้านบน เพื่อใช้ควบคุมอากาศในระบบผนังบล็อกแก้ว GD-PV และช่วยระบายอากาศออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกบ้านได้เร็วขึ้น ผนังบล็อกแก้ว GD-PV มีหลักการทำงานสองกรณีโดย กรณีแรกผนังบล็อกแก้วสองชั้น เป็นการระบายอากาศแบบธรรมชาติโดยอาศัย



รูปที่ 5 ความร้อนผ่านผนังบล็อกแก้ว GD-PV [10]-[14]

หลักการเหนี่ยวนำอากาศ [9]-[14] โดยเปิดพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง จะสามารถทำงานได้ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง กรณีที่สองเป็นระบบบังคับ [12] โดยเปิดพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงจะสามารถทำงานได้เฉพาะช่วงเวลาที่มียังรังสีอาทิตย์ เมื่อความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์ ตกกระทบบนผนังบล็อกแก้วและแผงโซลาร์เซลล์ชั้นนอก ทำให้เกิดการสะสมความร้อนที่ผิว เกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเข้าภายในช่องระหว่างผนังสองชั้น ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในช่องว่างของผนังสองชั้นมีอุณหภูมิสูงกว่า อุณหภูมิอากาศภายในบ้านพักอาศัย จึงเกิดการเหนี่ยวนำของอากาศภายในช่องว่างผนังสองชั้น ก่อให้เกิดการระบายอากาศแบบธรรมชาติภายในบ้าน พัดลมไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้รับแหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยตรงจากโซลาร์เซลล์ เพื่อช่วยการระบายอากาศได้เร็วมากขึ้น ส่งผลต่อความรู้สึกสบายของผู้พักอาศัยและได้แสงธรรมชาติที่ส่องผ่านผนังบล็อกแก้วเข้าสู่ภายในบ้านพักอาศัย ช่วงเวลากลางวัน ช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากแสงประดิษฐ์ [15]

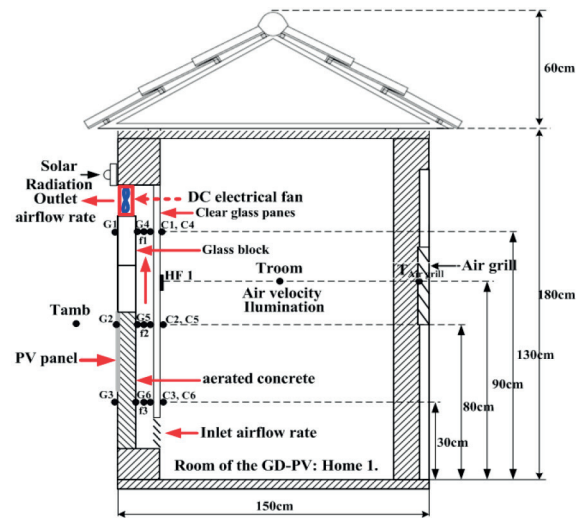
2. อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

บ้านจำลองสร้าง ณ บริเวณชั้นดาดฟ้าอาคาร 63 วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร

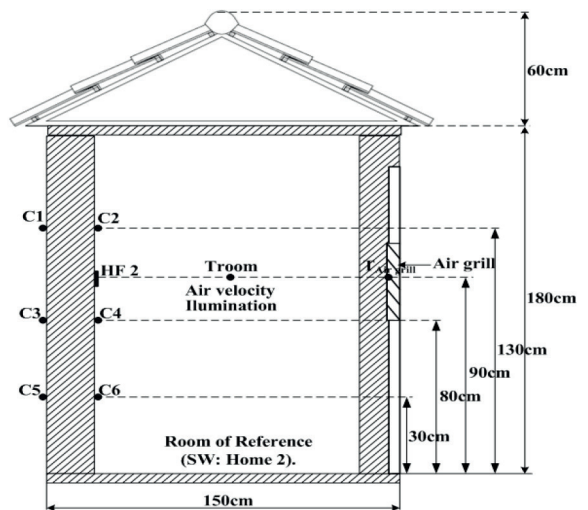
โดยศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะการป้องกันความร้อน

เข้าสู่ภายในห้องของบ้านจำลองระหว่างผนังบล็อกแก้วสองชั้นโพลีโวลตาอิกร่วมกับพัดลมกระแสตรง (GD-PV: Home 1) กับผนังคอนกรีตทั่วไป (SW: Home 2) และผนังคอนกรีตบล็อกแก้ว (GW: Home 2) ทดลองภายใต้สภาวะอากาศปกติ (ปิดเครื่องปรับอากาศ)

สำหรับผนังบล็อกแก้ว GD-PV มีขนาดความสูง 1.50 ม. ความกว้าง 0.60 ม. และมีลักษณะโครงสร้างประกอบด้วย ผนังชั้นนอกเป็นบล็อกแก้วร่วมกับแผงโซลาร์เซลล์ขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 50 วัตต์ มีขนาดพื้นที่เท่ากับ 0.670×0.656 ตร.ม. มีความหนา 0.03 ม. (จำนวน 1 แผง) และเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดคริสตัลไลน์ซิลิกอน (Crystalline Silicon) และมีลักษณะพิเศษอื่นๆ แรงดันมาตรฐาน 17 โวลต์ กระแสไฟฟ้าปกติ 2.95 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้าปกติ 12.0 โวลต์ กระแสไฟฟ้าลัดวงจร 3.25 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด 21.5 โวลต์ มีความหนาประมาณ 0.8 ม. ผนังชั้นในเป็นกระจกใส มีความหนา 0.06 ม. มีขนาดช่องว่างอากาศ 0.8 ม. ช่องเปิดด้านล่างอยู่ภายในบ้านมีขนาด 0.24×0.12 ตร.ม. ผนังบล็อกแก้ว GD-PV ด้านบนติดตั้งพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 2×5.76 วัตต์ ช่วยระบายอากาศและป้องกันแมลงที่มีขนาด 0.24×0.12 ตร.ม. ช่องเปิดด้านบนเพื่อช่วยระบายอากาศร้อนจากภายในออกสู่ภายนอกหรือสิ่งแวดล้อม สำหรับผนังคอนกรีตทั่วไปชั้นเดียว (SW) และผนังคอนกรีตบล็อกแก้ว (GW) ขนาดความหนาประมาณ 0.10 ม. และผนังทดสอบทั้งสามแบบนี้ ติดตั้งอยู่บนผนังด้านทิศใต้ของบ้านจำลองสอง (ดังแสดงในรูปที่ 1-2) บ้านจำลองมีลักษณะโครงสร้างประกอบด้วย ผนังมวลเบาทั่วไปฉาบปูนด้านนอกและด้านในทั้ง 4 ด้านและบนผนังทาสีภายนอกด้วยสีขาว มีขนาดพื้นที่ของผนังแต่ละด้านเท่ากับ 1.5 ม. $\times$ 1.8 ม. ความหนา 0.10 ม. มีโครงสร้างหลังคาใช้กระเบื้องคอนกรีต CPAC ทำมุมเอียง 30 องศา และบุด้วยยูลูมิเนียมฟอยด์สะท้อนความร้อนฝ้าเพดานแผ่นยิปซัม มีความหนา 0.001 ม. ซึ่งเป็นฉนวนเพื่อป้องกันความร้อนจากห้องใต้หลังคาเข้าสู่ภายใน ห้องทดลองบ้านจำลอง มีประตูพลาสติก PVC ขนาด 1.5 ม. $\times$ 0.75 ม.

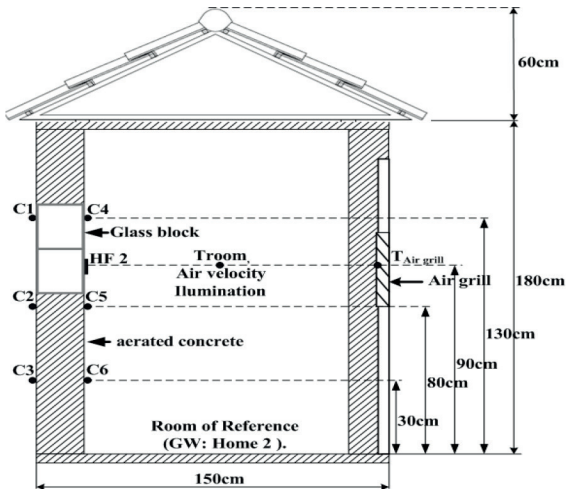


รูปที่ 6 การติดตั้งเครื่องมือวัดของบ้านที่ติดตั้งผนังบล็อกแก้ว GD-PV: Home 1



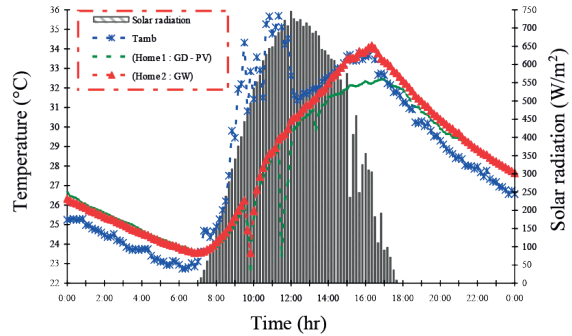
รูปที่ 7 การติดตั้งเครื่องมือวัดของบ้านที่ติดตั้งผนังคอนกรีตทั่วไป SW: Home 2

ความหนา 0.035 ม. ติดตั้งอยู่ทางด้านทิศตะวันออก และมีหน้าต่างเป็นกระจกใสธรรมดาที่มีความหนา 0.5 ม. $\times$ 0.8 ม. มีความหนา 0.006 ม. ติดตั้งอยู่ทางด้านทิศตะวันตก การติดตั้งเครื่องมือวัดของบ้านทดสอบทั้งสองหลัง (ดังแสดงใน รูปที่ 6-8) จุดวัด ค่าอุณหภูมิโดยใช้สายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K (ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.5\%$)



รูปที่ 8 การติดตั้งเครื่องมือวัดของบ้านที่ติดตั้งผนังคอนกรีตบล็อกแก้ว GW: Home 2

วัดอุณหภูมิตามจุดต่างๆ ของบ้านทดสอบที่ติดตั้งผนังบล็อกแก้ว GD-PV: Home 1 ที่ผนังชั้นนอกและผนังชั้นในช่องว่างอากาศระหว่างผนังบล็อกแก้ว GD-PV จำนวน 10 จุด (G1, G2, G3, G4, G5, G6, f1, f2, f3, C1, C2, C3, C4, C5, C6) อุณหภูมิอากาศภายในบ้าน ตรงบานเกล็ดของประตูบ้านด้านทิศตะวันออกและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมจำนวน 3 จุด (T_{room} , $T_{air\ grill}$, T_{amb}) และบ้านทดสอบที่ติดตั้งติดตั้งผนังคอนกรีตทั่วไป (Home 2: SW) และผนังคอนกรีตบล็อกแก้ว (Home 2: GW) จำนวน 6 จุด (C1, C2, C3, C4, C5, C6) อุณหภูมิอากาศภายในบ้าน และตรงบานเกล็ดของประตูบ้านด้านทิศตะวันออก (T_{room} , $T_{air\ grill}$) จำนวน 2 จุด วัดค่าความร้อนไหลผ่านผนัง ยี่ห้อ EKO Heat Flow Meter รุ่น MF-180 ช่วงการวัดประมาณ -30°C ถึง 120°C (ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 2\%$) ผนังด้านทิศใต้ของบ้านจำนวน 1 จุด และวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของรังสีอาทิตย์วัดโดยไพราโนมิเตอร์ยี่ห้อ EKO Pyranometer รุ่น MS-601 (ช่วงการวัด 1 ถึง 1400 W/m^2 ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$) ค่าแรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงโซลาร์เซลล์ ค่าอุณหภูมิ ค่าความร้อนไหลผ่าน ผนังและความชื้น ทำการบันทึก



รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในบ้านจำลองทั้งสองหลัง อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และความเข้มของรังสีอาทิตย์ (วันที่ 20 ธันวาคม 2554)

ด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Recorder) ยี่ห้อ Hioki รุ่น 8422-51 (ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.8\%$) ค่าความสว่างภายในบ้านจำนวน 1 จุด (ยี่ห้อ Testo รุ่น Model Testo 545 ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 8\%$) ค่าความเร็วลมภายใน และภายนอกบ้านจำนวน 2 จุด โดยใช้เครื่องวัด Hot Wire Anemometer (รุ่น Testo 454 ช่วงการวัด 0 ถึง 50 m/s ความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$) เก็บบันทึกข้อมูลทุก 10 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง โดยทดลองในลักษณะเช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Puban และคณะ [9] Chantawong และคณะ [10]-[12] Khedari และคณะ [13] และ Pongsatirat [14] ปรีดา [16]-[18] (ดังแสดงจากตารางที่ 1)

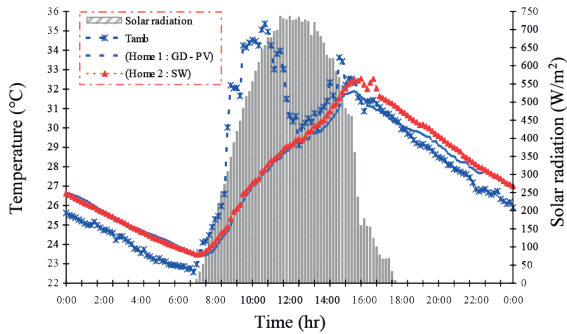
ตารางที่ 1 วันที่ทำการทดลอง

วัน เดือน ปี	Home 1	Home 2
20 ธันวาคม 2554	GD - PV	SW
10 กุมภาพันธ์ 2555	GD - PV	GW

3. ผลการทดลอง

ผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (T_{amb}) และความชื้นของรังสีอาทิตย์ (Solar Radiation) และอุณหภูมิภายในบ้านจำลองทั้งสองหลัง (T_{room})

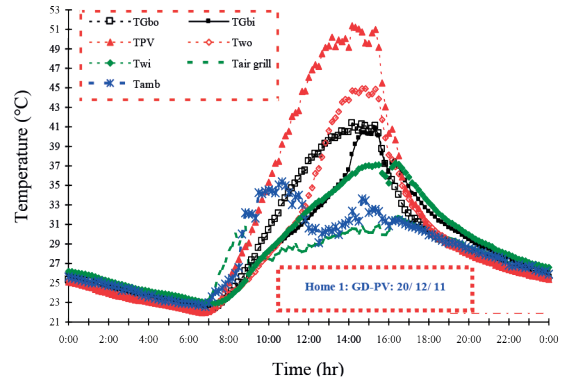
ผลการทดสอบภายในวันที่ 20 ธันวาคม 2554 และ



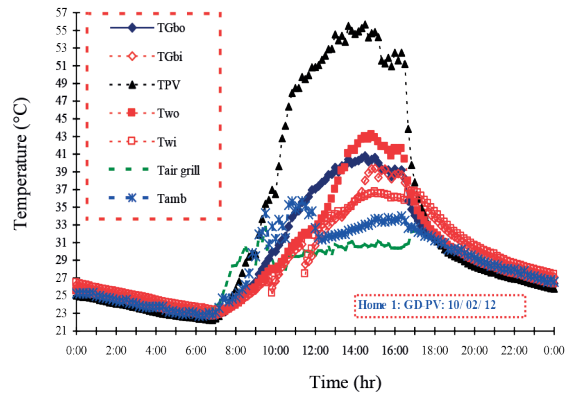
รูปที่ 10 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในบ้าน
จำลองทั้งสองหลัง อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และ
ความเข้มของรังสีอาทิตย์ (วันที่ 10 กุมภาพันธ์
2555)

วันที่ 10 มกราคม 2555 ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง แสดงดังรูป
ที่ 9-10 พบว่ามีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง
และความเข้มของรังสีอาทิตย์ จากช่วงเวลา 7:30-12:30 น.
มีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูงสุดประมาณ 35-36°C และ
ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์สูงสุดประมาณ 740-750 W/m²

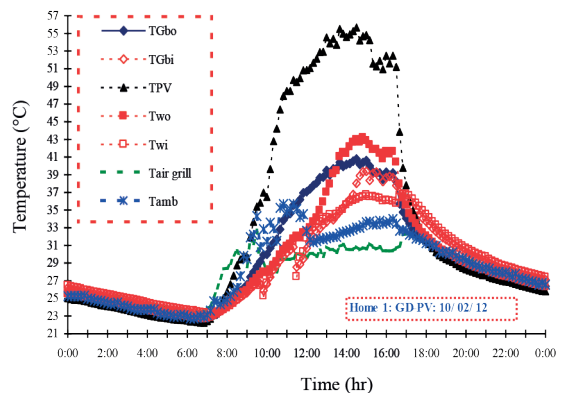
จากรูปที่ 11-16 ผลการเปลี่ยนแปลงรายชั่วโมงของ
อุณหภูมิเฉลี่ยของบ้านจำลองที่ติดตั้งผนังบล็อกแก้ว GD-PV:
Home 1 ประกอบด้วย อุณหภูมิบนผนังบล็อกแก้วด้านนอก
($T_{Gbo} = G1$) อุณหภูมิบนผนังบล็อกแก้วด้านใน ($T_{Gbi} = G4$)
อุณหภูมิบนเซลล์แสงอาทิตย์ (TPV) อุณหภูมิบนผนัง
ชั้นนอกด้านนอก ($T_{wo} = G3$) อุณหภูมิบนผนังชั้นนอก
ด้านใน ($T_{wi} = (G5+G6)/2$) อุณหภูมิบนผนังชั้นใน
ด้านนอก ($T_{Gbo} = (C1+C2+C3)/3$) อุณหภูมิบนผนังกระจกชั้นใน
ด้านนอก ($T_{co} = (C1+C2+C3)/3$) และอุณหภูมิบนผนัง
กระจกชั้นในด้านใน ($T_{ci} = (C4+C5+C6)/3$) อุณหภูมิ
อากาศภายในห้อง (T_{room}) อุณหภูมิภายใน ช่องว่างผนัง
GD-PV ประกอบด้วย อุณหภูมิตรงทางเข้า ($T_{in} = f3$)
ตรงกลางระหว่างช่องว่าง ($T_{middle} = f2$) และตรงทางออก
ของผนัง ($T_{out} = f1$) อุณหภูมิอากาศตรงบานเกล็ดของ
ประตูบ้าน ($T_{air grill}$) อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (T_{amb}) และบ้าน
จำลองที่ติดตั้งผนังคอนกรีตทั่วไป (SW: Home2) ประกอบ
ด้วยอุณหภูมิบนผนังชั้นนอก ($T_{wo} = (C1+C2+C3)/3$)



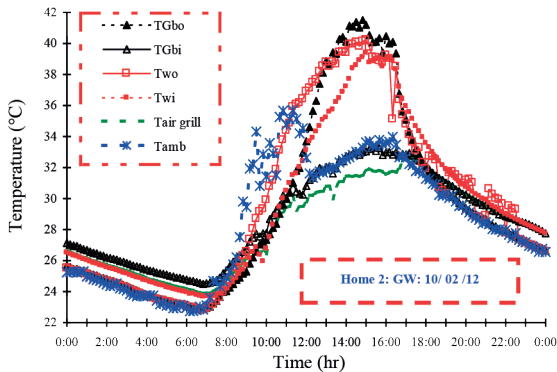
รูปที่ 11 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมบนผนังชั้นนอก
ของบ้านที่ติดตั้งผนังบล็อกแก้ว (Home 1: GD-PV)



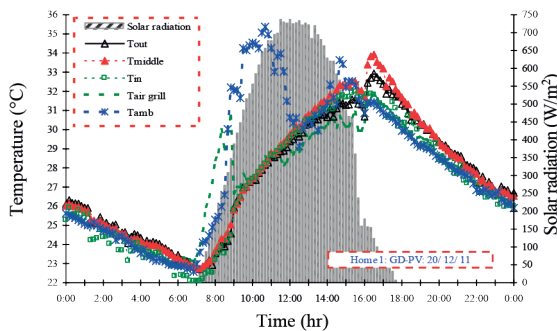
รูปที่ 12 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมบนผนังของบ้าน
ที่ติดตั้งผนังคอนกรีตทั่วไป (Home 2: SW)



รูปที่ 13 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมบนผนังชั้นนอก
ของบ้านที่ติดตั้งผนังบล็อกแก้ว (Home 1: GD-PV)



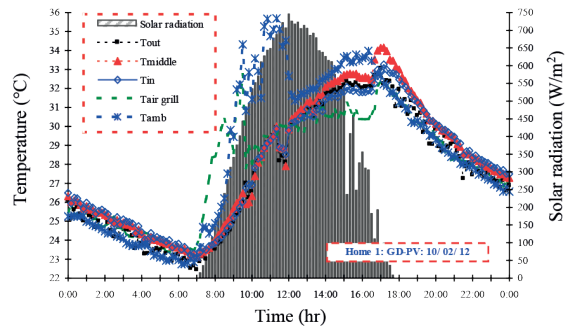
รูปที่ 14 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิบนผนังของบ้านที่ติดตั้งผนังคอนกรีตทั่วไป (Home 2: GW)



รูปที่ 15 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศภายในของผนังบล็อกแก้ว (Home 1: GD-PV: 20/12/11)

อุณหภูมิบนผนังด้านใน ($T_{wi} = (C4+C5+C6)/3$) อุณหภูมิภายในบ้านจำลอง (T_{room}) อุณหภูมิอากาศตรงบานเกล็ดของประตูบ้าน ($T_{air grill}$) และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (T_{amb}) และบ้านจำลองที่ติดตั้งผนังคอนกรีตบล็อกแก้ว (GW: Home 2) ประกอบด้วยอุณหภูมิบนผนังด้านนอก ($T_{Gbo} = G1$) อุณหภูมิบนผนังด้านใน ($T_{Gbi} = G4$) อุณหภูมิบนผนังชั้นนอกด้านนอก ($T_{wo} = (G2+G3)/2$) อุณหภูมิบนผนังชั้นนอก ด้านใน ($T_{wi} = (G5+G6)/2$) อุณหภูมิภายในบ้านจำลอง (T_{room}) อุณหภูมิอากาศตรงบานเกล็ดของประตูบ้าน ($T_{air grill}$) และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (T_{amb})

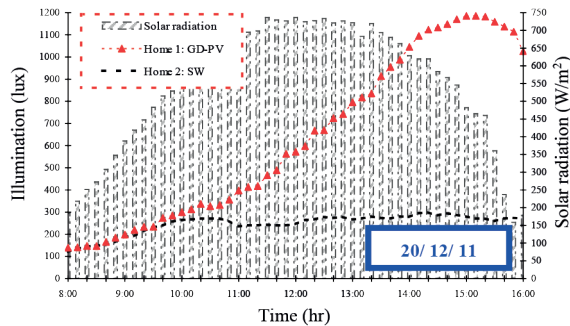
ผลการศึกษาทดสอบพบว่า อุณหภูมิภายในของบ้านที่ติดตั้งผนังบล็อกแก้ว GD-PV: Home 1 มีอุณหภูมิ



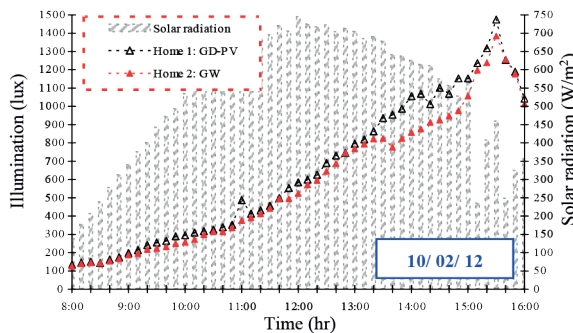
รูปที่ 16 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศภายในของผนังบล็อกแก้ว (Home 1: GD - PV: 10/02/12)

ต่ำกว่าบ้านที่ติดตั้งผนังชั้นนอกผนังคอนกรีตทั่วไป (SW: Home 1) และผนังคอนกรีตบล็อกแก้ว (GW: Home 2) ประมาณ 1-3°C (จากรูปที่ 9-10) และจากรูปที่ 11-14 พบว่าอุณหภูมิบนเซลล์แสงอาทิตย์ (TPV) ของผนังบล็อกแก้ว GD-PV: Home 1 มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยบนผนังชั้นนอกผนังคอนกรีตทั่วไป (SW: Home 2) และผนังคอนกรีตบล็อกแก้ว (GW: Home 2) ประมาณ 1-12°C และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมประมาณ 20-24°C ภายในวันที่ทำการทดสอบดังแสดงจากตารางที่ 1 เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ของผนัง GD-PV เป็นสีดำซึ่งจะสามารถดูดกลืนความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์ และสะสมความร้อนที่ผิวของผนังภายนอกได้ดีกว่าสีขาว ส่งผลทำให้มีอุณหภูมิสูงกว่าช่วงเวลากลางวันที่มีแสงแดด และจากรูปที่ 11 และ 13 พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยบนผนังชั้นนอกสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยบนชั้นในของผนัง GD-PV: Home 2 ประมาณ 12-18°C เนื่องจากผนังชั้นในของผนัง GD-PV ไม่ได้รับความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์โดยตรง

จากรูปที่ 15-16 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศภายในช่องว่างของผนัง GD-PV พบว่าอุณหภูมิอากาศตรงกลาง มีค่าสูงประมาณ 33-35°C และสูงกว่าอุณหภูมิอากาศตรงทางออก อุณหภูมิอากาศตรงทางเข้าของผนัง GD-PV และอุณหภูมิอากาศภายในห้อง (รูปที่ 9-10) อุณหภูมิอากาศตรงบานเกล็ดของประตูบ้าน และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมประมาณ 2-5°C ส่งผลให้เกิด



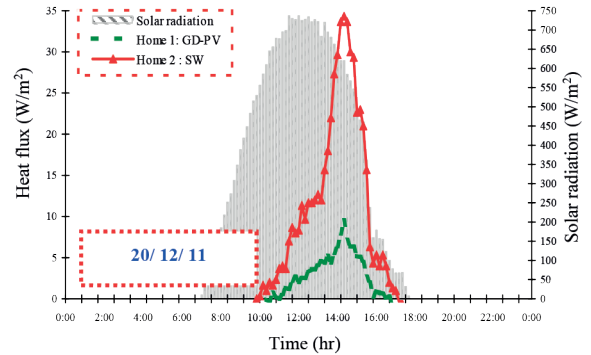
รูปที่ 17 การเปลี่ยนแปลงของแสงธรรมชาติภายในของบ้านจำลองที่ติดตั้ง GD-PV กับ SW



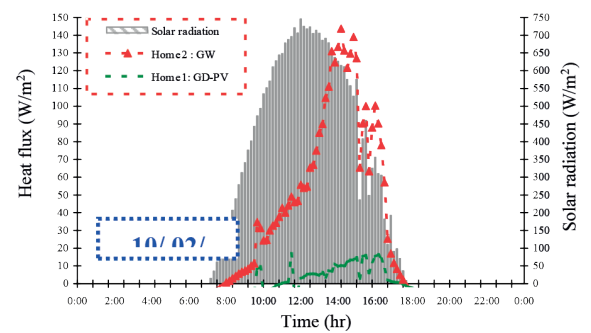
รูปที่ 18 การเปลี่ยนแปลงของแสงธรรมชาติภายในของบ้านจำลองที่ติดตั้ง GD-PV กับ GW

การเห็นวิวอากาศด้วยแรงลอยตัวของอากาศภายในช่องว่างของผนัง GD-PV เพื่อระบายอากาศภายในห้องออกสู่สิ่งแวดล้อมแบบธรรมชาติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และแบบบังคับโดยใช้พัดลมไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้แหล่งพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ ช่วงเวลาที่มีแสงแดด (ตลอดช่วงเวลากลางวัน) พัดลมช่วยระบายอากาศได้เร็วขึ้นทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศภายในห้องได้ดีกว่า บ้านที่ติดตั้งผนังคอนกรีตทั่วไป (SW: Home 2) และผนังคอนกรีตบล็อกแก้ว (GW: Home 2) เนื่องจากบ้านที่ติดตั้งผนังชั้นเดียว อุณหภูมิอากาศภายในบ้านไม่สามารถระบายออกสู่ภายนอกได้ก่อให้เกิดการสะสมความร้อนและส่งผลต่อสภาวะความสบายเชิงความร้อนของพักอาศัย

ผลการเปลี่ยนแปลงของแสงธรรมชาติภายในของ



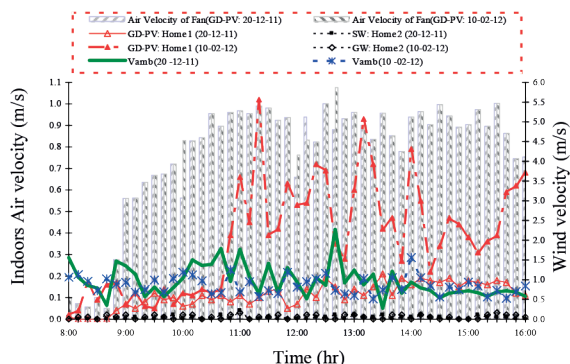
รูปที่ 19 ผลเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนไหลผ่านผนังของบ้านจำลองที่ติดตั้งผนัง GD-PV กับ SW



รูปที่ 20 ผลเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนไหลผ่านผนังของบ้านจำลองที่ติดตั้งผนัง GD-PV กับ GW

บ้านจำลองจากรูปที่ 17-18 พบว่า ค่าสว่างของแสงธรรมชาติที่สองผ่านผนังเข้าสู่ภายในบ้านจำลองที่ติดตั้งผนัง GD-PV: Home 1 และผนังคอนกรีตบล็อกแก้ว (GW: Home 2) มีความสว่างภายในบ้านพักอาศัยอยู่ในระดับที่ไม่แตกต่างกันมากสูงกว่า ผนังคอนกรีตทั่วไปชั้นเดียว (SW: Home 2) เนื่องจากผนัง SW เป็นผนังทึบทำให้แสงต่างๆ ส่องไม่สามารถผ่านผนังเข้าได้

ผลการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังด้านทิศใต้ของบ้านจำลองที่ติดตั้งผนังบล็อกแก้ว GD-PV: Home 1 และบ้านจำลองที่ติดตั้งผนังคอนกรีตทั่วไป (SW: Home 2) และผนังคอนกรีตบล็อกแก้ว (GW: Home 2) จากรูปที่ 19-20 พบว่า บ้านจำลองที่ติดตั้งผนังบล็อกแก้ว GD-PV มีค่าการนำความร้อนผ่านผนังต่ำกว่า บ้านจำลองที่ติดตั้งผนังคอนกรีตทั่วไปชั้นเดียว (SW) และผนังคอนกรีต



รูปที่ 21 การเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมภายในของบ้านจำลองทั้งสองหลัง

บล็อกแก้ว (GW: Home 2) และผนังบล็อกแก้ว GD-PV ช่วยลดความร้อนผ่านผนังเข้าสู่ภายในตัวบ้านประมาณร้อยละ 71.43-86.67

การเปรียบเทียบอัตราการไหลเวียนของอากาศภายในบ้านจำลองทั้งสองหลังระหว่างบ้านจำลองที่ติดตั้งผนังคอนกรีตทั่วไปชั้นเดียว (SW) และผนังคอนกรีตบล็อกแก้ว (GW: Home 2) และบ้านจำลองที่ติดตั้งผนัง GD-PV: Home 1 (จากรูปที่ 21) พบว่าห้องของบ้านจำลองที่ติดตั้งผนัง GD-PV: Home 1 มีความเร็วลมในห้องประมาณ 0.05-0.29 m/s สูงกว่า ห้องของบ้านจำลองที่ติดตั้งผนังคอนกรีตทั่วไปชั้นเดียว (SW) และผนังคอนกรีตบล็อกแก้ว (GW: Home 2) ซึ่งจะมีความเร็วลมในห้องประมาณ 0.01-0.02 m/s ความเร็วลมภายนอกประมาณ 0.5-2.25 m/s และผนังบล็อกแก้ว GD-PV เป็นการระบายอากาศแบบบังคับโดยใช้พัดลมไฟฟ้ากระแสตรงมีความเร็วลมประมาณ 5.5-5.58 m/s และความเร็วของพัดลมขึ้นกับความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง

4. สรุป

การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะการป้องกันความร้อนเข้าสู่ภายในห้องของบ้านจำลองระหว่างผนังบล็อกแก้วสองชั้นโฟโตโวลตาอิกร่วมกับพัดลมกระแสตรง (GD-PV) กับผนังบล็อกแก้ว (GW) และผนังคอนกรีตทั่วไป (SW)

พบว่า บ้านที่ติดตั้งผนังบล็อกแก้วสองชั้น GD-PV จะมีอุณหภูมิภายในห้องต่ำกว่า บ้านที่ติดตั้งผนังบล็อกแก้ว GW และผนัง SW คอนกรีตทั่วไปประมาณ 1-3°C และช่วยลดอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทางด้านทิศใต้ร้อยละ 71.43 - 86.67 และการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลเวียนของผนังบล็อกแก้วสองชั้น GD-PV ขึ้นกับความเข้มแสงของอาทิตย์ ผนังบล็อกแก้วสองชั้น GD-PV ช่วยประหยัดพลังงาน

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนเพื่อสนับสนุนนักวิจัยทั่วไปประจำปี 2554 ฝ่ายส่งเสริมการวิจัยและประเมินผลสำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ปรีชา อ่องอารี ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่อนุญาตให้ใช้สถานที่สำหรับทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] V. Freitas, V. Abrantes, and P. Crausse, "Moisture migration in building walls-analysis of the interface phenomena," *Building and Environment*, vol.31, no.2, pp.99-108, 1996.
- [2] K. Suksongyat, I. Chaisayun, A. Chankrapoe, P. Chantawong, V. Vimanjan, and P. Namprakai, "Economical comparative analysis between house built using red clay bricks wall and aerated concrete wall for heat transfers and thermal properties," *The Journal of KMUTNB*, vol. 17, no. 2, pp. 34-42, May-Aug 2007 (in Thai).
- [3] J. Khedari, A. Sangprajak and J. Hirunlabh, "Thailand climatic zones," *Renewable Energy*, vol. 25, pp. 267-280, 2001.



- [4] S. Chirarattananon, P. Chaiwiwatworakul and S. Pattanasethanon, "Daylight availability and models for global and diffuse horizontal illuminance and irradiance for Bangkok," *Renewable Energy*, vol. 26, pp. 69-89, 2002.
- [5] DM. Ogoli, "Predicting indoor temperatures in closed building with high thermal mass," *Energy and Buildings*, vol. 35, pp. 99-108, 2003.
- [6] P. Chantawong, V. Vimanjan, C. Asasutjarit, J. Hirunlabh, J. Khedari, A. Orudee, A. Puangjeen, and L. Jaikrakang, "Field comparative study between light gray and lily white exterior surface color on Indoor conditions of a house model under hot humid climate of Bangkok." *Journal of KMITNB*, vol. 17, no. 3, pp. 11-20, September-December (in Thai).
- [7] P. Chantawong, V. Vimanjan, W. Puangsombut, J. Hirunlabh, C. Asasutjarit and J. Khedari, "Comparative study of effects on the thermal performance of exterior surface colour between of light gray and sky white colour of house model under hot humid climate of Bangkok." *Engineering Journal of Siam University*, vol. 9 no. 1, pp. 31-40, Number 16, January-June 2008 (in Thai).
- [8] Y. Ungkoon and P. Chantawong, "Study of thermal performance and economic analysis of cost aerated concrete walls," *Journal of Applied Science*, vol. 8, no. 2, pp. 22-28, June 2009 (in Thai).
- [9] S. Puban and P. Chantawong, "Study of effect of trombe walls on indoor conditions of a house model under hot humid climate of Thailand," *Journal of Science Ladkrabang*, vol. 20, no. 1, pp. 35-44, January-June 2011 (in Thai).
- [10] P. Chantawong, "Investigation on the thermal performance of aerated concrete wall solar chimney under hot humid climate of Bangkok," *Engineering Journal of Siam University*, vol. 10, no. 1, Number 18, pp. 1-14, January-June 2009 (in Thai).
- [11] P. Chantawong, V. Vimanjan, J. Khedari, and J. Hirunlabh, "Study of aerated concrete wall solar chimneys under the climate of Thailand," *Journal of Applied Science*, vol. 8, no. 2, pp. 43-52, June 2009 (in Thai).
- [12] P. Chantawong, "Study of a solar cells chimney wall assisted with DC fan under the climate of Bangkok," *Ladkrabang Engineering Journal*, vol. 26, no. 6, pp. 37-42, September 2009 (in Thai).
- [13] J. Khedari, C. Pongsatirat, W. Puangsombut, and J. Hirunlabh, "Experimental performance of a partially-glazed Modified Trombe Wall," *International Journal of Ambient Energy*, vol. 26, pp. 27-36, 2005.
- [14] C. Pongsatirat, "Experimental performance of a partially-glazed modified trombe wall," Master of Engineering Thesis, King Mongkut's University of Technology Thonburi. Bangkok, pp. 76, 2000 (in Thai).
- [15] A. K. Yener, "A method of obtaining visual comfort using fixed shading device in room," *Building and Environment*, vol. 34, pp. 285-291, 1999.
- [16] P. Chantawong, "Experimental Study of a Glass block Double-Façade with Integrated Photovoltaic Panels with House Model under Climate of Thailand," General researcher grant 2011, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2011, pp.131 (in Thai).
- [17] P. Chantawong "Investigation on the Thermal Performance of a Glass Block Double-Façade with Integrated Photovoltaic Panels with House



Modle under Climate of Bangkok,” *Journal of Science Ladkrabang*, vol.21, no.1, pp. 40-54, January-June 2012 (in Thai).

[18] P. Chantawong, J. Hirunlabh, and J. Khedari,

“Experimental Study of a Glass block Double-Façade with Integrated Photovoltaic Panels with House Model,” *SEGA03 March 14-16*, Chaopraya Park Hotel, Bangkok, Thailand, BT 11, 2012.